

Análisis de los sistemas de explotación de aguas subterráneas con destino a riego de arroz en la provincia de Entre Ríos

MENDIETA, Marcelo; BARRAL, Gabriel y DÍAZ, Eduardo

Departamento Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER
Universidad Nacional de Entre Ríos
E-mail: mmendieta@fca.uner.edu.ar

Resumen

El cultivo de arroz se sustenta en un 70% en la explotación de aguas subterráneas, lo cual deriva en una alta demanda energética, significando más del 40 % de los costos directos de implantación del cultivo.

Ante la necesidad de preservar y utilizar eficientemente los recursos naturales, este trabajo evalúa los sistemas de bombeo en perforaciones para el riego de arroz en cuanto a su economía y sostenibilidad.

A partir de la determinación del caudal de bombeo, consumo de combustible y velocidad de trabajo de motor y bomba, y la caracterización del sistema acuífero – perforación, se ha encontrado bajo rendimiento en la utilización de la energía, por deficiente selección y ajuste de los equipos de bombeo, la utilización de bombas de bajo rendimiento o funcionamiento fuera de sus parámetros de diseños, y además del uso de sistemas de transmisión inapropiado.

Se han determinado las principales causas de pérdidas de eficiencia y se ha propuesto una metodología para su determinación y la optimización de estos equipos.

El 77% de los sistemas trabajan con un rendimiento de sistemas del 40% y solo el 23% alcanzan un valor superior al 56%. La transmisión por correa plana ocasiona hasta un 30% de las pérdidas, mientras que el utilizar bombas sin bancos de prueba explican hasta un 24 % de pérdidas.

INTRODUCCIÓN

Durante los finales de la década de los '90 el crecimiento de la superficie arrocerá en la provincia de Entre Ríos se basó en la incorporación de perforaciones profundas que explotan la Formación Salto Chico (Fili et al, 1994) para pasar de un promedio de 40.000 a 170.000 hectáreas en la campaña 98-99. A partir de condiciones del mercado destino de la producción y el incremento del costo de los combustible líquidos, la superficie disminuyó a 36.000 hectáreas en la campaña 2001-2002.

El Proyecto "Sustentabilidad del Cultivo de Arroz en la Provincia de Entre Ríos" desarrollado por el Departamento Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Entre Ríos, pretende realizar planteos racionales en la utilización de los recursos agua y tierra para lograr la sustentabilidad en el tiempo del sistema de producción de arroz, Benavidez et al (2001). Esto no solo involucra a los recursos naturales, y su preservación, sino también al aprovechamiento de los mismos en forma eficiente, que comprende también el aspecto económico y su permanencia como alternativa viable de producción.

La Formación Salto Chico fue entonces la responsable de sustentar el crecimiento de las extracciones con destino a riego de arroz. Las relaciones de recarga al sistema acuífero no son claramente conocidas, y tampoco se conoce con precisión la relación con el ciclo hidrológico externo. Las perforaciones tienen una profundidad promedio de 85 metros y el nivel estático oscila entre 22 y 35 metros bbb. Es por ello que el costo de combustible representa más del 40% de los costos totales de producción del cultivo de arroz. De ahí la importancia de ajustar todos aquellos factores que afectan la eficiencia del sistema, buscando maximizar la cantidad de metros cúbicos de agua extraída por cada litro de combustible utilizado.

A los efectos de evaluar el funcionamiento de los sistemas de extracción de agua se aforaron perforaciones ubicadas en el área arrocerá, Figura N° 1, seleccionando en función de las características generales de los sistemas mayormente utilizados en la provincia de Entre Ríos.

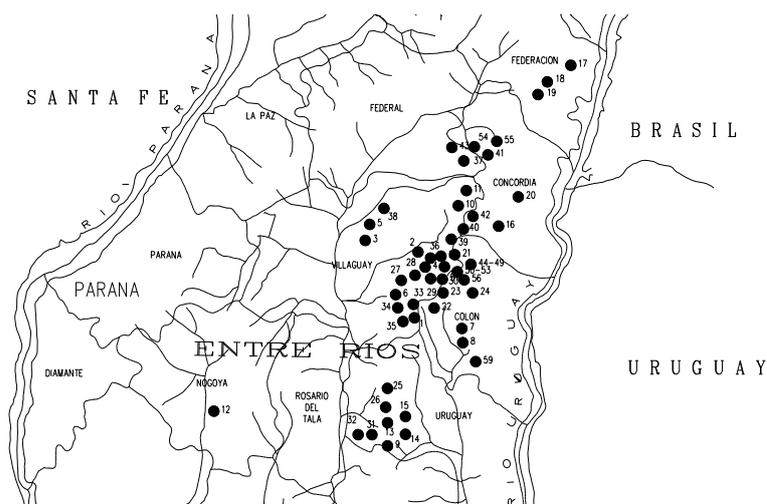


Figura N° 1. Ubicación de la Perforaciones Ensayadas

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el funcionamiento de los sistema de bombeo en perforaciones con destino a riego de arroz, estimar la eficiencia del uso del combustible y la conversión de agua a grano de arroz.

Interpretación del funcionamiento del sistema perforación – bomba – transmisión – motor con determinación de rendimiento, a través de la relación potencia útil demandada y la potencia entregada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El caudal se determinó mediante un aforador totalizador, del tipo hélice. El registro del contador, con precisión de décimas de metros cúbicos, a intervalos de un minuto en un tiempo de medición de 5 minutos, medido con cronómetro, permite determinar el caudal a partir de la relación de volumen que pasa por intervalo de tiempo. El error de medición es del orden del +- 2%.

Para medir el consumo de combustible se realiza una derivación de la entrada de combustible del tanque de almacenamiento, realizando una unión en “T” que permite que el motor pueda tomar alternativamente el combustible de un recipiente aforador a través de un sistema sencillo de dos válvulas, sin necesidad de interrumpir la marcha del motor. La medición se realiza abriendo la válvula que toma combustible de la probeta, mientras se cierra la válvula de alimentación del tanque combustible, manteniendo la probeta con un volumen superior a la sección graduada, se activa el cronómetro al paso del menisco por los 1.500 cc hasta llegar a consumir un volumen determinado, este volumen se relaciona con el tiempo medido por el cronómetro y se expresa en consumo horario (lts/h). Para el caso de los motores eléctricos se siguió la metodología utilizada por Rubio Campos (1996).

La potencia entregada por un motor diesel se determina a través del consumo de combustible, el consumo específico, tomado de las curvas características del fabricante, y el peso específico del combustible, a través de la Ecuación N° 1.

$$N = \frac{C_h \times P_e}{C_e} \quad (1)$$

Donde:

N: potencia estimada (CV)

C_h: consumo de combustible (l/h)

P_e: peso específico (gr/l)

C_e: consumo específico (gr/CVh)

Para los mecanismos de transmisión de engranajes con acoples cardánicos, se adoptan valores estándares de rendimiento, considerando que estos operan en forma estable a distintas condiciones de trabajo y con alta eficiencia de transmisión.

Para los mecanismos de correas planas, se caracteriza el sistema, considerando distancia entre ejes, diámetros de árboles y poleas motoras y conducidas, ancho y espesor de correas y

características constructivas de las correas. Se determina la velocidad de giro del eje del motor y la velocidad de giro del eje de la bomba, mediante un cuenta vueltas de revoluciones (rpm). Mediante el análisis cinemático y dinámico de funcionamiento del mecanismo, ecuaciones de Prony (Cosme, 1977), se determina las velocidades tangenciales de la correas, las tensiones de ramales, las fuerzas centrífugas y los esfuerzos en cojinetes, Pezzano y de Klein (1976, 1977). A través de estas interpretaciones se puede estimar la capacidad de transmisión (Ecuaciones 2 y 3) de potencia en CV y un orden del rendimiento del sistema.

$$T = \sigma_t \times a \times \delta \quad (2)$$

$$N = \frac{a \times \delta \times V}{75} \left(\sigma_t - \frac{\gamma \times V^2}{g} \right) \left(\frac{e^{\mu\alpha} - 1}{e^{\mu\alpha}} \right) \quad (3)$$

Donde:

T : tensión ramal tenso

N : Potencia motora en CV

a : ancho de la correa en [m].

δ : espesor de la correa en [m].

V : velocidad tangencial de la correa en [m/s] = $\pi \times D \times n / 60$

n : velocidad de giro r.p.m.

D: Diámetro polea motora [m].

σ_t : tensión de trabajo normal [kg/m³].

γ : peso específico de la correa en [Kg./m³].

g : fuerza de gravedad

e : base del logaritmo neperiano.

μ : coeficiente de rozamiento entre la correa y la polea.

α : ángulo menor (polea chica) de contacto.

Todos los puntos medidos fueron referenciados mediante la utilización de un GPS navegador de precisión decamétrica. Los valores de latitud y longitud fueron convertidos a coordenadas Gauss - Krugger del Instituto Geográfico Militar de la República Argentina en faja 5.

RESULTADOS

Se realizaron un total de 59 ensayos de bombeo cubriendo toda la zona arroceras de la Provincia de Entre Ríos y analizando todos los sistemas utilizados, Díaz et al (2001,a), Díaz et al (2001,b) y Díaz et al (2002). Para cada una de estas unidades de muestreo se tomaron en cuenta las distintas variables ha analizar, Mendieta (2000) y Herrera (2002), tales como:

- Tipo de transmisión utilizada.
- Diferentes marcas de bombas – con o sin banco de prueba.
- Motores. Marcas, modelos y potencia teórica y estimada.
- Fuente de energía utilizada: combustibles líquidos – gasoil, agrodiesel e IFO 10 (Intermediate Fuel Oil) – y energía eléctrica.

Las potencias máxima de los motores oscilan entre 90 y 220 CV, de los que efectivamente se utilizan entre 55 y 165 CV, con un valor promedio de 115 CV.

Los consumos de combustible líquidos oscilan entre los 10.2 a 33.6 l/h, y un promedio de 23.3 l/h. Mientras que los consumos de energía eléctrica fueron entre 50 y 93.2 Kw/h y un promedio 75,9 KW/h.

Las Figuras N° 2 a 4 presentan las relaciones de potencia demandada y el caudal de extracción, el consumo de combustible y la conversión de combustible a metros cúbicos de agua y el rendimiento del sistema en función de la velocidad de trabajo del motor para el ensayo N° 58 realizado en la localidad de Jubileo. Las Figuras N° 5 y 6 presentan la distribución de caudales y conversión de combustible a m³ de agua extraída en función de la transmisión.

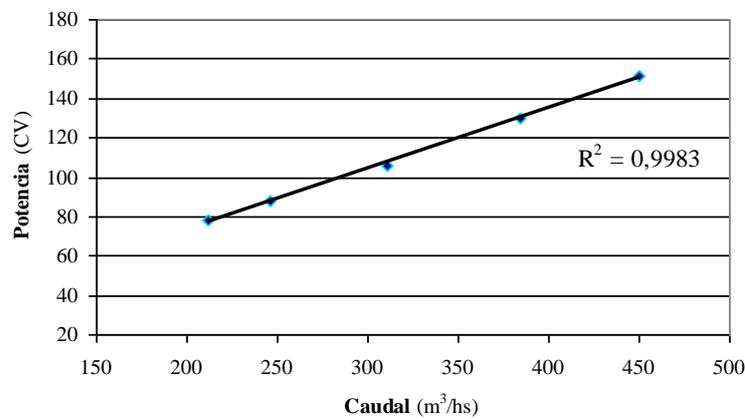


Figura N° 2. Potencia requerida en función del caudal extraído

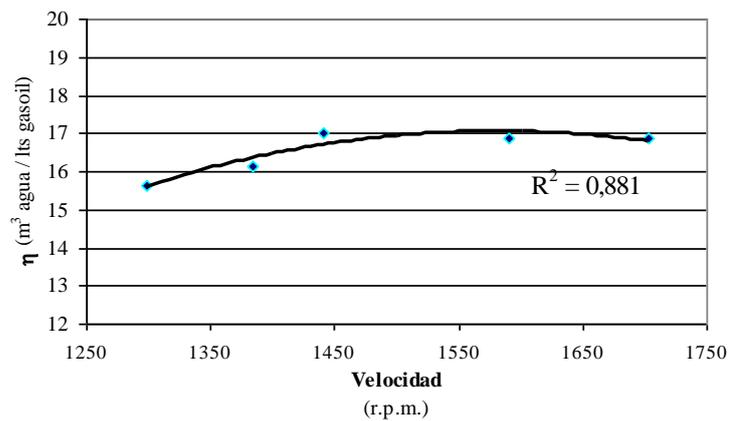


Figura N° 3. Caudal extraído por litro de gasoil en función de rpm eje motor

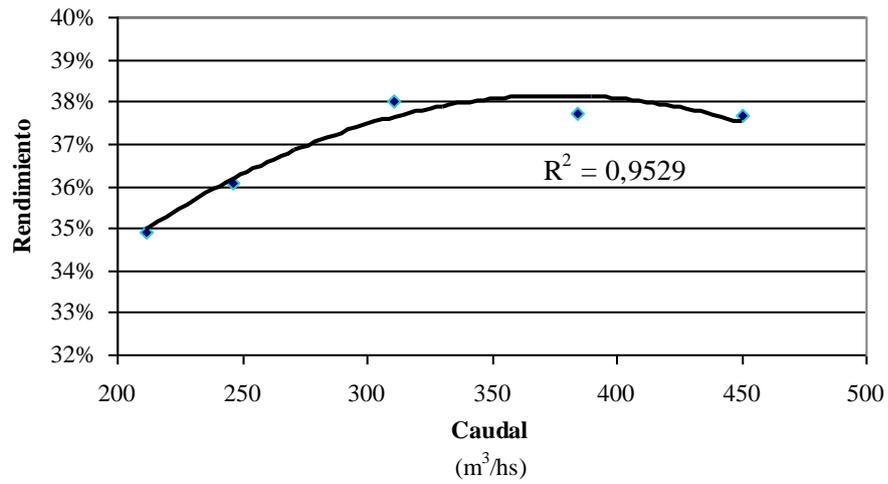


Figura N° 4. Rendimiento del sistema de bombeo en función del caudal

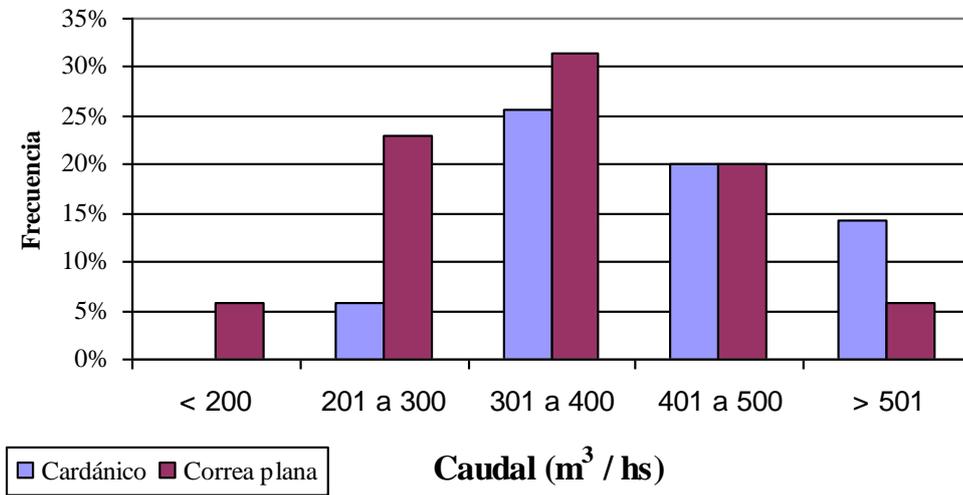


Figura N° 5. Frecuencia de Caudales en función de la transmisión

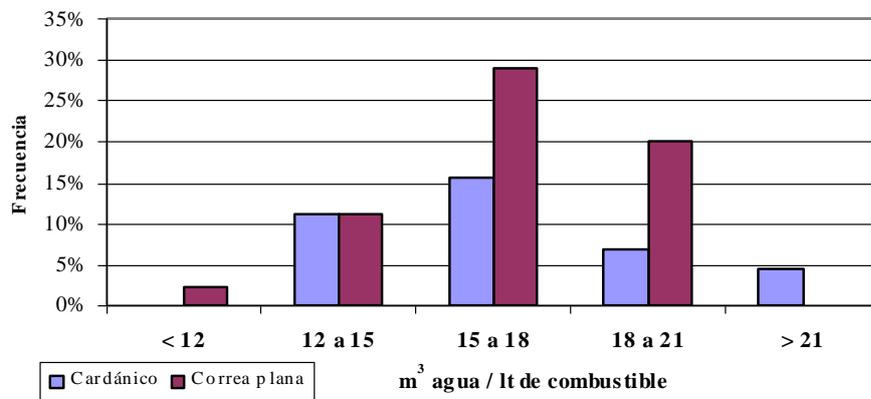


Figura N° 6. Conversión de los sistemas de transmisión.

En la Tabla N° 1 se muestra las diferencias de rendimientos, evaluado a través de la conversión de combustible a volumen de agua extraída (m³/lts), de sistemas que trabajan con bombas que presentan bancos de prueba y bombas fabricadas artesanalmente, generalmente como copias de bombas reconocidas, dentro de estas categorías se considera el tipo de transmisión utilizada y si trabajan ajustado a rangos apropiados para las especificaciones técnicas de la bomba, esto es velocidad de giro y caudal de bombeo para una altura manométrica determinada. Para el presente análisis se estandarizó la altura de extracción de agua a 35 m.a.c., para evitar la distorsión de los rendimientos a causa de esta variable.

Tabla N° 1- Metros cúbicos de agua bombeada por litro de combustible

Transmisión utilizada	Categoría de bombas				Valores medios
	Con banco de prueba		Sin banco de prueba		
	Ajustado	Sin ajustar	Ajustado	Sin ajustar	
Cardánico (1)	20,6 (15,5%)	14,3 (2,2%)	15,5 (13,3%)	14,6 (6,7%)	17,3 (37,8%)
Correa plana	17,5 (17,8%)	16,6 (17,8%)	16,2 (11,1%)	16,9 (15,6%)	16,9 (62,2%)
Valores medios	18,95 (33,4%)	16,3 (20%)	15,4 (24,4%)	16,2 (22,3%)	17 (100%)

CONCLUSIONES

Los mecanismos a engranajes con acoples cardánicos presentan pérdidas por rozamiento de engranajes. Operan con rendimientos cercanos al 95 %. Las poleas y correas presentan pérdidas por patinaje, rozamiento en cojinetes, fuerzas centrífugas y estiramiento de correas, entre otras. Las correas planas cruzadas – con las características adoptadas en la totalidad de los ensayos realizados no son apropiadas para transmitir potencias superiores a 90 CV y operan con rendimientos de 58-72%.

En la evaluación de los mecanismo de transmisión se puntualizó el estudio de los sistemas por correa plana, utilizados en el 62% de los equipos con motores a combustión interna y que presentan una mayor variabilidad de condiciones de trabajo y mayores pérdidas energéticas asociadas a un mal dimensionamiento y calibración del equipo. Mientras que los mecanismos por correa en “v” – utilizados en algunos motores eléctricos – tiene muy baja representación. Mientras que los cabezales a engranajes con acoples cardánicos son mecanismos que en condiciones apropiadas de trabajo presentan alto rendimiento, superiores al 95%.

Se ha encontrado que el 62% de las bombas sin banco de prueba presentan un rendimiento inferior al 55%, mientras que el 61% de las bombas con banco de prueba superan este rendimiento. El rendimiento de una bomba es propio para distintas marcas y modelos. Es afectado por la velocidad de trabajo, altura de extracción y el caudal de bombeo. Estos dos últimos factores están estrechamente vinculados al rendimiento del pozo. Se pueden considerar como aceptables rendimientos de 60-74%, mientras que rendimientos de 40-60% son inadecuados, por el alto costo operativo que ocasionan.

Se ha encontrado que el 44 % de los motores a combustión interna evaluados no llegan a entregar su potencia máxima, a causa de una inapropiada relación de transmisión.

Los caudales de bombeos oscilan entre 167 y 588 m³/h, con valores medios de 369 m³/h. Las conversiones de combustible liquido a metros cúbicos de agua oscilaron entre 10.2 y 21.5 m³ de agua por litro de combustible. La eficiencia global del sistema osciló entre un 19 y un 67 %, con un valor medio del 46%. Para el caso de sistemas alimentados a partir de motores eléctricos las conversiones fueron de entre 2.4 a 5.1 m³ de agua por Kw/h y un rendimiento promedio del 56%.

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica que a través del Proyecto PICT-97 permitió la ejecución del proyecto “Sustentabilidad del Cultivo de Arroz en la Provincia de Entre Ríos”. A la UNER, donde se llevaron a cabo los estudios. A la Fundación PROARROZ que financió parcialmente la realización de los ensayos a campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Benavidez, R.; Díaz, E.; Duarte, O.; Mendieta, M.; Pozzolo, O.; Valenti, R.; Lenzi, L y Wilson, M.** (2001). *“Evaluación de la Conversión del Agua en Grano. Aplicación al Cultivo de Arroz”*. International Symposium Irrigation and Water Relations in Grapewine and Fruit Tress” y National Seminar on “Sustainable Water Resources Management in Arid Regions”. Organizado por el INTA, INA, Fac. de Ciencias Agrarias UNC, el ISHS y la AACS. Mendoza 2 al 6 de Diciembre de 2001.
- Cosme, H.** (1977). *Elementos de Máquinas – Métodos modernos de cálculo y diseño*; Editorial Marymar. Buenos Aires.
- Custodio, E. y Llamas, M.R.** (1976). *Hidrología Subterránea. Tomo I y II*. Editorial Omega.
- Díaz E., Mendieta M., Pozzolo O., Duarte O., Valenti R., Fontanini P., Noir J, Barral G. y Lenzi L.** (2002) *“Eficiencia de Conversión de energía de bombeo en agua en el riego de arroz en Entre Ríos”*. Resultados Experimentales 2001-2002. Volumen XI Fundación PROARROZ-INTA. Concordia.
- Díaz E., Mendieta M., Valenti R., Lenzi L., Duarte O., Cerana J., Wilson M. y Benavides R.** (2001,b). *“Costo del Riego de Arroz. Evaluación de los Sistemas Basados en Perforación Profunda y Represas de Almacenamiento en Entre Ríos. Argentina”*. Septiembre de 2001. Almería. España.
- Díaz E., Pozzolo O., Mendieta M., Valenti R., Lenzi L., Duarte O., Wilson M. y Benavidez R.** (2001,a). *“Evaluación del riego del cultivo de arroz por su capacidad de conversión de agua y energía de bombeo a grano”*. Resultados Experimentales 2000-2001. Volumen X. Fundación PROARROZ - INTA. Concordia. 2001
- Fili M. F., Tujchneider O. C., Perez M. y Marta Paris.** (1994). *“Investigaciones Geohidrológicas en la Provincia de Entre Ríos. Temas Actuales de la Hidrología Subterránea”*. Universidad Nacional de Mar del Plata y Consejo Federal de Inversiones. Página: 299-313
- Herrera, F.** (2002). *“Análisis de las causas que intervienen en la eficiencia de los motores y transmisiones de los equipos de bombeo arroceros en la Provincia de Entre Ríos”*. Trabajo Final de Graduación. Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER. 80 pp.
- Mendieta, M.** (2000) *“Caracterización de sistemas de extracción de aguas subterráneas en zonas arroceras”*. Trabajo Final de Graduación. Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNER. 85 pp.
- Pezzano, P. y de Klein, A.** (1976). *Elementos de máquinas II Transmisiones*. Editorial Ateneo 9ª Edición - Buenos Aires 1976 – 190 paginas
- Pezzano, P. y de Klein, A.** (1977). *Elementos de máquinas III Engranajes y poleas*. Editorial Ateneo 8ª Edición - Buenos Aires 1977 – 287 paginas
- Rubios Campos, J. C.** (1999). *“Evaluación de extracciones a partir del consumo energéticos”*. Medida y evaluación de las extracciones de agua subterránea. Ballester Rodríguez, Fernández Sánchez y López Geta Editores. ITGE. España, p 141-160.